SETSCI Conference Indexing System,
Volume 2 (2018), 434-439

ISAS 2018

I[st] International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies

April 11-13, 2018, Kemer-Antalya, Turkey

Bilişsel Radyo Ağlarında Spektrum Algılama için Çevrimiçi Öğrenme Algoritmasına Dayalı Optimum Eşik Modeli

Kenan KOÇKAYA[1*+], İbrahim DEVELİ[2]

[1]*Cumhuriyet Üniversitesi, Divriği Nuri Demirağ Meslek Yüksekokulu, 58300, Sivas, Türkiye*
[2]*Erciyes Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye*
[*]*Corresponding author: kkockaya@cumhuriyet.edu.tr*
[+]*Speaker: kkockaya@cumhuriyet.edu.tr*
Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet– Bilişsel radyo kullanılmayan ya da az kullanılan spektrum bantlarına dinamik olarak erişim olanağı sağlayan ve kullanıcılar arasında herhangi bir olumsuzluğa neden olmadan spektrum paylaşımını gerçekleştiren yazılım tabanlı bir teknolojidir. Kablosuz haberleşme ağlarında bilişsel radyonun başarımı spektrum boşluklarının doğru ve hızlı bir şekilde algılanmasına bağlıdır. Bu çalışmada, optimum eşik değerin belirlenmesi için katı bir eşik değer düzeni belirlenmemiştir. Bilişsel radyolarda spektrum algılama başarımını artırmak için yanlış algılama olasılığı minimize edilirken, algılama olasılığının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için algılama olasılığının performansını etkileyen birinci ve ikinci tip hatalar detaylı olarak incelenmiş ve kaskat eşik değer belirleme düzeni önerilmiştir. Yapılan çalışma üç aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada IEEE 802.22 standardına göre yanlış alarm olasılığının 0.1'den küçük olması istenmektedir. Bu değer dikkate alınarak yanlış alarm olasılığına bağımlı bir eşik değer belirlenir. İkinci aşamada bu eşik değerin kullanılması sonucunda yapılan analize bağlı olarak kurulan ikili hipoteze göre birincil ve ikincil tip hataların toplamı optimize edilerek eşik değer ifadesi yeniden tanımlanır. Son aşamada ise çevrimiçi öğrenme algoritması sunulmuştur. Önerilen algoritma ile birincil ve ikincil tip istatistiksel hatalar analiz edilerek lisanslı kullanıcının varlığına ya da yokluğuna karar verebilmek için gerekli olan optimum eşik değer ifadesine ilişkin yeni matematiksel ifadeler türetilmiştir. Bu matematiksel ifadeler kullanılarak önerilen algoritmanın farklı sönümlemeli kanallar üzerinde başarımı test edilmiştir. Simülasyon çalışmaları sonucunda optimum eşik değer seçimine bağlı olarak spektrum algılama performansında özellikle düşük SNR rejiminde önemli bir iyileşme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Spektrum algılama, Enerji Algılama, Eşik Değer, Makine Öğrenme Algoritmaları, Çevrimiçi Öğrenme Algoritması

I. GİRİŞ

Haberleşme sistemlerinin bir alanı olan kablosuz haberleşme sistemleri insanların değişen talep ve ihtiyaçlarına cevap verebilmek için hızlı bir gelişim ve değişim içerisindedir. Kablosuz haberleşme sayesinde insanların mekâna olan bağımlılığı ortadan kalkmıştır. Bunun sonucunda, kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verebilmek için kullanılan kablosuz cihaz sayısında muazzam bir artış meydana gelmiştir. Bu artışla doğrusal olarak spektrum bantlarına olan talep her geçen gün daha da artmaktadır. Bu talebin karşılanabilmesi için mevcut spektrum bantlarının verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri telekomünikasyon otoritesi Federal Communications Commission (FCC) tarafından yapılan ölçümler lisanslı bantların % 90'a varan oranlarda kullanılmadığını göstermiştir. Ölçüm sonuçları FCC Spectrum Policy Task Force grubu tarafından "FCC Report of the Spectrum Efficiency Working Group," başlıklı raporda yayınlanmıştır [1],[2]. Son yıllarda tam kapasite ile kullanılmayan ya da boş olan bu iletim ortamlarının etkin bir şekilde kullanılması konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda öne çıkan kavramlardan birisi Mitola tarafından 1999 yılında ortaya konulan bilişsel radyo kavramıdır [3]. Bilişsel radyo çalıştığı elektromanyetik ortamı algılayarak, kullanılmayan frekans bantlarını tespit eden ve radyo çalışma parametrelerini bu bantlarda yayın yapabilecek şekilde uyarlayabilen yazılım tabanlı bir teknolojidir [4].

Literatürde spektrum algılama ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Spektrumun daha etkin kullanımı maksadıyla bilişsel radyolarda, boş veya daha az kullanılan kanalları belirlemek için uyumlu filtre [5], döngüsel durağanlık tabanlı algılama [6] ve enerji algılama tabanlı algılama [7] başta olmak üzere çok sayıda analiz yöntemi kullanılmaktadır. Birincil kullanıcıya ait bant genişliği, çalışma frekansı, modülasyon türü ve derecesi, darbe şekli ve çerçeve yapısı gibi işaretleşme bilgilerinin bilinmesi durumunda algılama süresi kısa olan uyumlu filtre tabanlı yöntemler tercih edilir [5]. Buna karşın, eğer birincil kullanıcılara ait bilgiler tam olarak bilinmiyorsa matematiksel ve donanımsal karmaşıklığı az olan enerji algılama tabanlı yöntemler tercih edilir [6],[7].

Enerji algılama tabanlı spektrum algılamada öncelikle amaçlanan, birincil kullanıcı işaretinin var olup olmadığının önceden belirlenen gürültü gücüne bağımlı bir eşik değeri ile karşılaştırılarak belirlenmesidir. Spektrum algılama

başarımının optimum eşik değer ifadesinin elde edilmesi ile artırılabileceği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [8]-[11]. Ancak pratikte gürültü gücü gölgeleme, sönümleme, algılama zamanı ve bilişsel radyo kullanıcısın konumuna bağlı olarak spektrum algılama başarımında değişimler yaşanmaktadır. Bu değişim genellikle algılama performansını düşürmektedir. Literatürde sönümleme, gölgeleme, mekânsal farklılıklar gibi algılama başarımı olumsuz etkileyen faktörlerin etkisini azaltmak için işbirlikçi spektrum algılama modelleri bir çözüm olarak sunulmuştur [12],[13].

Son yıllarda yapay zekâ ve makine öğrenme algoritmaları konusunda çalışmalarda ciddi bir artış olduğu görülmektedir. Yongwei, Z. ve arkadaşları, spektrum algılama probleminin çözümü için makine öğrenmesine dayalı bir algılama yöntemi önermişlerdir [14]. Bu yöntem sinyal özelliklerine ve sınıflandırma için kullanılan kümeleme algoritmasına bağımlıdır. Alınan sinyaller k-means kümeleme algoritması kullanılarak sınıflandırılır. Sınıf parametreleri, özdeğer ve kovaryansları belirlenerek önerilen algoritmanın performansı araştırılmıştır. Makine öğrenme algoritmasının kullanılması ile hata olasılığının düştüğü ve algılama performansının arttığı belirtilmiştir [14].

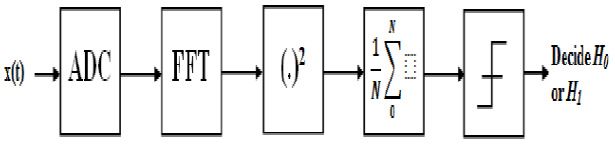
Bu çalışmada, sırasıyla ikinci bölümde enerji algılama tabanlı spektrum algılama yöntemi tanımlanarak, önerilen yöntem yardımıyla optimum eşik değer ifadesi için yeni matematiksel ifadeler türetilmiştir. Üçüncü bölümde farklı sönümlemeli kanallar üzerinde önerilen algoritmanın performansına ilişkin sistem benzetimi yapılmış ve elde edilen veriler paylaşılmıştır. Son bölümde önerilen yöntemin avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

II. METARYAL VE METOT

Bu bölümde, spektrum algılama problemi tanımlanmış olup, bu problemin çözümü için önemli bir parametre olan optimum eşik değer ifadesi matematiksel olarak elde edilmiştir.

A. Enerji Algılama Sistem Modeli

Bilişsel radyo sistemlerinde önsel bilgiye ihtiyaç duyulmaması ve matematiksel karmaşıklığının az olması nedeniyle spektrum algılama için enerji algılama yöntemi kullanılır [1]-[3]. Spektrum algılamada öncelikle amaçlanan, birincil kullanıcı işaretinin var olup olmadığının bir eşik değeri ile karşılaştırılarak belirlenmesidir. Şekil 1 de, bir enerji detektörüne ait blok şema verilmiştir.



Şekil 1. Enerji Detektör Blok diyagramı

Enerji algılama sistem modelinde birincil kullanıcıya ait iletim gücü tespit edilerek önceden belirlenen gürültü gücüne bağımlı bir eşik değeri ile karşılaştırılarak birincil kullanıcının varlığına ya da yokluğuna karar verilir. Başlangıç aşamasında aşağıdaki belirtildiği gibi iki hipotez oluşturulur [15]:

$$H_0: \quad Y[n] = W[n] \qquad işaret\ yok;$$

$$H_1: \quad Y[n] = X[n] + W[n] \ \ işaret\ var; \tag{1}$$

Burada sırası ile $Y[n]$ alınan işareti, W[n] sıfır ortalamalı ve varyansı σ_n^2 olan toplanabilir beyaz Gauss gürültüsünü, $X[n]$ ise σ_s^2 varyanslı iletilen işareti ve $n = 0,1,2,..,N$ olmak üzere N ise gözlemlenen pencere sayısını göstermektedir. Enerji algılama tabanlı spektrum algılama yönteminde birincil kullanıcı işaretinin varlığına karar verilirken, test istatistik değeri (T) belli bir eşik değeri (γ) ile karşılaştırılır. Enerji detektörü için test istatistiği, hızlı fourier dönüştürücü (FFT) bileşenleri dizisi olarak gösterilebilir. Bu test istatistiği sinyalin enerjisini temsil eder. Enerji sezici için test istatistik değeri;

$$T = \sum_{n=1}^{N} (Y[n])^2 \tag{2}$$

şeklinde tanımlanır [15]. N örnek sayısı yeterli ise Merkezi limit teoremi göre T istatistik dağılımı Gauss dağılımı dönüşür[5].

$$H_0: \quad T \sim Normal(N\sigma_n^2 + N2\sigma_s^4)$$

$$H_1: \quad T \sim Normal\big((\sigma_n^2 + \sigma_s^2), 2N(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)^2\big) \tag{3}$$

ifade edilir. Elde edilen T değeri eşik değerinden büyükse işaretin varlığına, değilse sadece gürültünün varlığına karar verilir.

$$Eğer \quad T \geq \lambda \quad işaret\ yok; \qquad Eğer \quad T < \lambda \quad işaret\ var; \tag{4}$$

Ancak, algılama performansı iki parametreye bağlı olarak ölçülür. Bunlar sırası ile algılama olasılığı (P_d) ve yanlış algılama olasılığıdır (P_{fa}):

$$P_d = P(T > \lambda / H_1) = Q\left(\frac{\lambda - N(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)}{\sqrt{2N(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)^2}}\right) \tag{5}$$

$$P_{fa} = P(T > \lambda / H_0) = Q\left(\frac{\lambda - N\sigma_w^2}{\sqrt{2N\sigma_w^4}}\right) \tag{6}$$

Burada Q(x) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy \tag{7}$$

Spektrum algılama probleminin çözümünde enerji algılama tabanlı yöntemin başarımı optimum eşik değer ifadesinin elde edilmesine bağımlıdır. Eşik değer ifadesine bağlı olarak lisanslı kullanıcıların varlığına ya da yokluğuna karar verilir. Uygun bir eşik değer elde edilememesi sistem algılama başarımında istenmeyen düşüşlere neden olacaktır.

B. Eşik Değer Belirleme

Spektrum algılama probleminin başarımının işaret gürültü oranı (SNR)'ye bağımlı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda enerji algılama sisteminin başarım performansının SNR'in pozitif olduğu yerlerde yüksek, negatif olduğu düşük SNR rejiminde ise yeterince iyi olmadığı gözlenmiştir. Pratik uygulamalarda her bir bilişsel kullanıcıda alınan sinyal gizli birincil terminal problemlerinin yanı sıra solma ve gölgelemeden kaynaklanan belirsizliklerin

etkilenebilir. Bununla birlikte çoğu yaklaşımda gürültü gücünün kesinlikle bilindiği varsayılır. Ancak, pratikte gürültü gücü algılama zamanı ve konumuna bağlı olarak değişebilir. Bu durum gürültü belirsizliği olarak tanımlanır. Bu nedenle enerji algılama tekniği kullanılan spektrum algılama modellerinde algılayıcının düşük SNR rejiminde performansı sistem başarımı açısından son derece önemlidir [16], [17].

Spektrum algılama performansının ölçümünde iki parametre çok önemlidir. Bu parametrelerdeki değişim algılama başarımı önemli ölçüde etkilemektedir.

1. Birincil kullanıcının (PU) varlığını gösteren H_1 hipotezi altında, algılama olasılığı P_d'dir. Birincil kullanıcıların parazit etkilerinden yeterince korunması için P_d'nin olabildiğince büyük olması gerekir.

2. Birincil kullanıcıların yokluğunu gösteren H_0 hipotezi altında yanlış alarm olasılığı P_{fa}'dir. P_{fa} spektrum kullanımını artırmak için oldukça küçük olmalıdır.

AWGN kanalda algılama olasılığı;

$$P_D = \frac{1}{2} erfc \frac{\lambda - \mu_1}{\sqrt{2}\sigma_1} \tag{8}$$

Yanlış algılama;

$$P_{fa} = \frac{1}{2} erfc \frac{\lambda - \mu_0}{\sqrt{2}\sigma_0} \tag{9}$$

Hatalı algılama olasılığı ve algılama parametreleri;

$$P_m = 1 - P_d \tag{10}$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \mu_0 = N\sigma_n \\ \mu_1 = N\sigma_n^2(\gamma+1)^2 \\ \sigma_0^2 = 2N\sigma_n^4 \\ \sigma_1^2 = 2N\sigma_n^4(\gamma+1)^2 \end{array} \right\} \gamma = SNR \tag{11}$$

olarak verilmiştir. Enerji detektörü için eşik değeri belirlenirken P_{fa} ile P_d arasındaki denge düşünülmelidir. P_{fa} minimize edilirken P_d maksimize olmalıdır. Buna sabit yanlış alarm oran (CFAR) algılama düzeni denir. P_m minimum bir değere ayarlanır veya P_d maksimum bir değere sabitlenerek P_{fa} en aza indirilebilir. Pratikte eşik, normal olarak yalnızca gürültü gücünün bilinmesini gerektiren durumlarda belirli bir P_{fa}'yı karşılayacak şekilde seçilir. P_d ve P_{fa}'nın arasındaki dengeye bağlı olarak karar eşiği belirli bir P_{fa} değeri için,

$$\lambda = Q^{-1}(P_{fa})\sqrt{2N} + (N)\sigma_n \tag{12}$$

ifade edilir. Düşük SNR'de elde edilen bu eşik değerine bağlı olarak algılama performansı büyük ölçüde düşer. Burada önemli olan, düşük SNR deki algılama performansının iyileştirilmesidir. Bu nedenle P_{fa} ve P_m bağımlı olan toplam hata olasılığı P_e kullanılarak optimize eşik değer ifadesi tanımlanmıştır [18].

Toplam hata olasılığı P_{fa} ve P_m ağırlıklar toplamından;

$$P_e = PH_0 P_{fa} + PH_1 P_m \tag{13}$$

Minimize etme probleminden faydalanarak;

$$\lambda = argmin_\lambda \left(PH_0 P_{fa} + PH_1 P_m\right) \tag{14}$$

optimize eşik değeri için;

$$\frac{dP_{fa}}{d\lambda} + \frac{dP_m}{d\lambda} = 0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial^2 P_e}{\partial \lambda^2} < 0 \tag{16}$$

P_{fa} ve P_m den;

$$\frac{dP_{fa}}{d\lambda} = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\left(\frac{(\lambda-\mu_0)^2}{\sqrt{2}\sigma_0}\right)} \tag{17}$$

$$\frac{dP_m}{d\lambda} = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\left(\frac{(\lambda-\mu_1)^2}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)} \tag{18}$$

15,16,17,18'deki denklemlerden faydalanılarak eşik değer ifadesi aşağıdaki gibi yeniden tanımlanır.

$$\lambda = \frac{-b + \sqrt{b - ac}}{a} \tag{19}$$

Denkleme ait a,b ve c katsayıları ise;

$$a = \sigma_1^2 + \sigma_0^2 \tag{20}$$

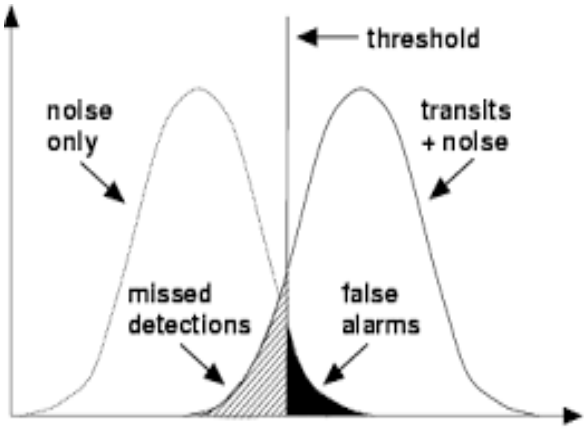
$$b = \sigma_0^2 \mu_1 - \sigma_1^2 \mu_0 \tag{21}$$

$$c = \sigma_1^2 \mu_0 + \sigma_0^2 \mu_1 - \frac{\sigma_1^2 \sigma_0^2}{\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0}\right)} \tag{22}$$

olarak verilmiştir [18].

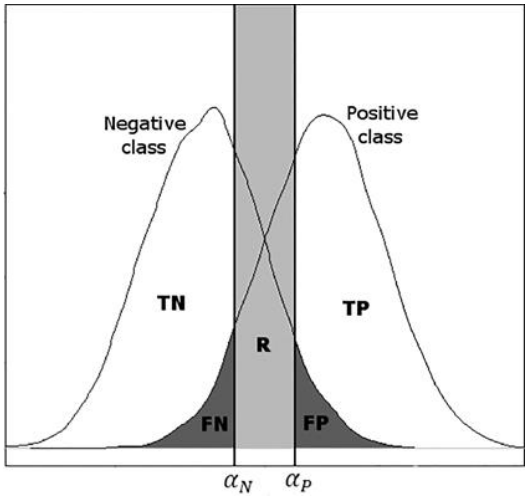
C. Çevrimiçi Öğrenme Algoritması Yardımıyla Optimum Eşik Değer İfadesinin Elde Edilmesi

Optimum eşik değer ifadesinin elde edilmesinde oluşturulan sistem modeli çok önemlidir. Oluşturulan modelin değerlendirilmesi doğruluk ve gerçek pozitif oran gibi parametrelere bağımlıdır. Bununla birlikte geriye dönük yapay olarak oluşturulan tahmin verileri ölçümlerde kullanılarak gerçek performans analiz edilebilir. Spektrum algılama probleminin çözümünde kullanılan enerji algılama yöntemi başarımı gürültü gücüne göre tanımlanan eşik değere bağımlıdır. Şekil 2'de olasılık dağılım eğrisinde gösterildiği gibi yanlış algılama olasılığı (P_{fa}) ve hatalı algılama olasılığı (P_m) arasındaki dengenin gözetilerek eşik değerin belirlenmesi son derece önem arz etmektedir.



Şekil 2. Eşik Değer için Enerji İlişkin Gauss İstatistiksel Dağılımı

Eşik değere bağlı olarak H_0 hipotezi için yanlış alarm olasılığının azalması ve H_1 hipotezi için hatalı algılama olasılığının artmasına neden olabilir. Bunun sonucunda toplam hata olasılığındaki değişim algılama performansını düşürebilir. Bu çalışmada çevrimiçi öğrenme algoritması kullanılarak yanlış algılama olasılığı ile hatalı algılama olasılığı arasındaki ilişki incelenmiş, bir ve ikincil tip hata parametreleri ve doğru algılama parametrelerinin analizi yapılarak Şekil 3'de gösterildiği gibi negatif ve pozitif olmak üzere veriler sınıflandırılarak iki sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflar için kritik eşikler belirlenerek gri bir alan oluşturulmuştur.



Şekil 3. Sınıflara İlişkin İstatistiksel Dağılım Eğrileri

Şekil 3'de tanımlanan R gri alan bölgesindeki veriler kümeleme algoritması kullanılarak alt sınıflara bölünmüştür. Oluşturulan sınıflar bir ve ikincil tip hatalar dikkate alınarak algılama performansları başarım düzeylerine göre derecelendirilir. Başarılı olan sınıfların başarım düzeylerini artırmak için, hata etki analizi yapılarak hata katsayıları ve ağırlık dizileri elde edilmiştir. Ağırlık dizileri yardımıyla bir iyileştirme faktörü tanımlanmıştır. Daha sonra yarılama ve ikiye bölme yöntemi kullanılarak rastgele üretilen gürültü süreçleri için optimum eşik değer ifadesi iyileştirme faktörü bağımlı olarak yeniden tanımlanmıştır. Çevrimiçi öğrenme algoritması yardımıyla optimum eşik değer ifadesinin elde edilmesine ilişkin işlem basamakları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Aşama1. Yanlış algılama olasılığı ile hatalı algılama olasılığı arasındaki ilişkinin incelenmesi ve ağırlık dizileri yardımıyla bir iyileştirme katsayının elde edilmesi.

1. Adım: Her bir (N_i,P_i) değerleri belirlenir ve sınıflar oluşturulur.

2. İki sınıfa ait kritik eşik değer ifadeleri tanımlanır.

3. İki eşik değer arasındaki gri alan içerinde ($X_{1,2,.....}$,X_n) alt sınıf oluşturulur.

4. Adım: Her bir alt sınıf için ağırlıklar tanımlanır. ($w_{i,j}$)

5. Adım: Ağırlıkların ortalaması bulunur.

$$w_{i,j} = \frac{w_{t,i}}{\sum_{i=0}^{N} w_{t,j}} \tag{23}$$

6. Adım: Veriler sınıflandırılır ve toplam hata oranı elde edilir.

$$E_T = \varepsilon_t = min \sum_{i=0}^{N} w_t c_i \tag{24}$$

$$c_i = \begin{cases} 0, & h_t(H_t, X_i, Y_i, P_i) = y_i \\ 1, & h_t(H_t, X_i, Y_i, P_i) \neq y_i \end{cases} \tag{25}$$

7. Yanlış Pozitif Hata(H_1/Hatalı Algılama)

$$E_{FP} = \sum_{i=0}^{p} w_{t,i} c_i \tag{26}$$

8. Yanlış Negatif Hata(H_0/Yanlış Hatalı Algılama)

$$E_{FN} = \sum_{i=0}^{N} w_{t,i} c_i \tag{27}$$

9. Sınıflandırma olasılıkları ve oranları sırası ile;

$$P_{FP} = \frac{E_{FP}}{E_T} \tag{28}$$

$$P_{FN} = \frac{E_{FN}}{E_T} \tag{29}$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + TN} \tag{30}$$

$$TNR = \frac{T\ N}{TN + FP} \tag{31}$$

Mathews Korelasyon Katsayısı;

$$MCC = \frac{TP * TN - FP * FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \tag{32}$$

8. İyileştirme katsayısı(p);

$$p = \left[log\left(\frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t}\right)\right]\left(\frac{1 - P_{FN}}{P_{FP}}\right) * MCC \tag{33}$$

2. Aşama: Bolzano ya da yarılama ve ikiye bölme yöntemi olarak ifade edilen optimizasyon tekniği kullanılarak elde edilen alıcı gücünün alt ve üst sınırları kullanılarak optimum eşik değeri yeniden tanımlanır.

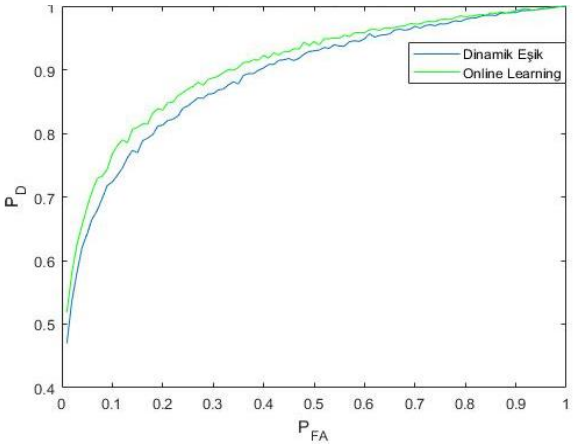
$$\lambda_i^{new} = \lambda_i^{opt} \pm p_i \left[\frac{\min(energy_i) + \max(energy_i))}{2}\right] \quad (34)$$

3. Aşama: Algılama performansı test edilir. Algılama performansında artış varsa eski eşik değerin yerini yenisi alır. Bu işlem algılama başarımında değişim olmaması durumunda sonlandırılır. Bunun sonucunda optimum eşik değer elde edilmiş olur.

III. BAŞARIM ANALİZİ VE NÜMERİK SONUÇLAR

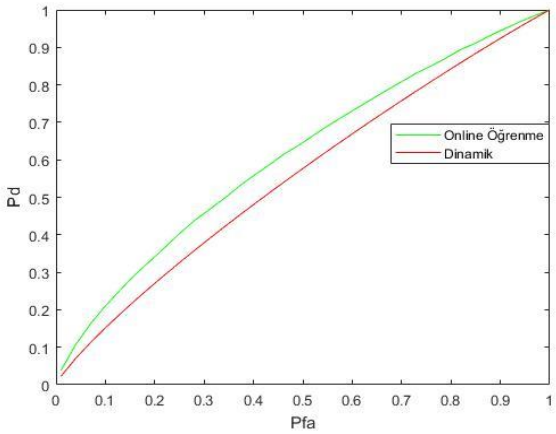
Spektrum boşluklarının doğru bir şekilde algılanması bilişsel radyonun verimli bir şekilde çalışması için çok önemlidir. Bu bölümde önerilen enerji algılama tabanlı çevrimiçi öğrenme algoritmasının başarımı farklı sönümlemeli kanallar için yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Şekil 4'de SNR=-10dB ve L=500 örnekleme için yanlış alarm olasılığına karşılık gelen algılama olasılığına ilişkin alıcı işletim karakteristik eğrisi (ROC), AWGN kanal için elde edilmiştir.



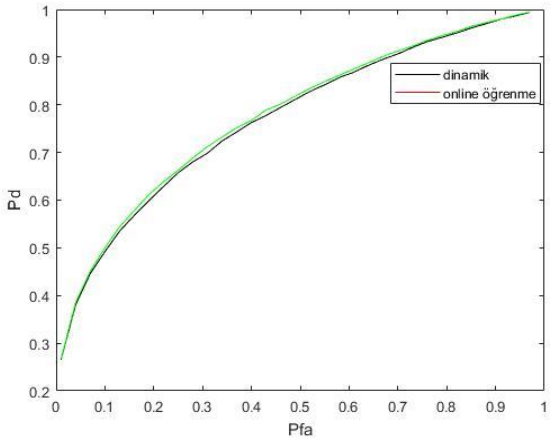
Şekil 4. AWGN kanal için ROC Eğrisi

Şekil 5'de SNR=-10dB ve L=500 örnekleme için yanlış alarm olasılığına karşılık gelen algılama olasılığına ilişkin alıcı işletim karakteristik eğrisi (ROC), Rayleigh kanal için elde edilmiştir.



Şekil 5. Rayleigh kanal için ROC Eğrisi

Şekil 6'da SNR=-10dB, m=3 ve L=500 örnekleme için yanlış alarm olasılığına karşılık gelen algılama olasılığına ilişkin alıcı işletim karakteristik eğrisi (ROC), Nakagami-*m* kanal için elde edilmiştir.



Şekil 6. Nakagami-*m* kanal için ROC Eğrisi

Ayrıca, IEEE 802.22 WRAN bilişsel radyo standardı dikkate alınarak, P_{fa}=0.1 için eşik değer ve algılama olasılıkları literatürde önerilen dinamik eşik değer modeli ile karşılaştırmalı olarak Tablo.1, Tablo.2 ve Tablo.3'de verilmiştir.

Tablo 1. AWGN Kanal için eşik değer ve algılama olasılığı

P_{fa}=0.1		Algılama Olasılığı (P_d)
Dinamik Eşik Değeri(λ_d)	1.0573	0.7250
Çevrimiçi Öğrenme Eşik Değeri(λ_{yeni})	1.0499	0.7643

Tablo 2. Rayleigh Kanal için eşik değer ve algılama olasılığı

P_{fa}=0.1		Algılama Olasılığı (P_d)
Dinamik Eşik Değeri(λ_d)	15.9872	0.1890
Çevrimiçi Öğrenme Eşik Değeri(λ_{yeni})	14.6324	0.2538

Tablo 3. Nakagami-m Kanal için eşik değer ve algılama olasılığı

P_{fa}=0.1		Algılama Olasılığı (P_d)
Dinamik Eşik Değeri(λ_d)	518.0252	0.6803
Çevrimiçi Öğrenme Eşik Değeri(λ_{yeni})	516.7996	0.6885

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada spektrum algılama probleminin çözümü için yeni bir optimum eşik değer modeli geliştirilmiştir. Enerji algılama tabanlı çevrimiçi öğrenme algoritmasının

kullanılarak optimum eşik değer ifadesi için yeni matematiksel ifadeler türetilmiştir. Önerilen yöntemin farklı sönümlemeli kanallar üzerinde spektrum algılama başarım analizi yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, bilişsel radyo sistemlerin algılama performansında kayda değer bir iyileşme olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir. (Proje No: FDK-2016-6908)

KAYNAKLAR

[1] FCC, Federal Communications Commission Spectrum Policy Task Force, Report of the Spectrum Efficiency Working Group, (Teknik Rapor), USA, 2002.

[2] Tuna, E. ve Karagöz, M. "Gelecek Nesil Ağlar İçin Spektrum Tahsisinde Yeni Bir Yaklaşım: Bilişsel Radyo", International Journal of Engineering Research and Development, Vol. 4, No.1, pp. 25-31. 2012.

[3] Mitola, J. ve Maguire, G. Q. "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal", IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 6, No. 4, pp. 13-18. 1999..

[4] Mitola, J. "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", Ph. D. Dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2000.

[5] Bektaş, C. ve Akan, A. "Enerji Tabanlı Spektrum Algılamada Dalgacık Dönüşümü Yaklaşımı", XX. Signal Processing and Communications Applications Conference, 18-20 Nisan, Muğla, pp. 1-4. 2012.

[6] Haykin, S. "Cognitive Radio: Brain Empowered Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, No.2, pp. 201–220. 2005.

[7] Yücek, T. ve Arslan, H. "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No.1, pp. 116-130. 2009.

[8] Bagwari, A. ve Tomar, G. S. "Adaptive Double-Threshold Based Energy Detector for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks", International Journal of Electronics Letters, Vol. 1, pp.24-32. 2013.

[9] Görçin, A., Qaraqe K.A., Celebi H., Arslan H., "An Adaptive Threshold Method for Spectrum Sensing in Multi-channel Cognitive Radio Networks", ICT 2010: 2010 17th International Conference on Telecommunications, Doha, pp.425-429. 2010

[10] Ajadi, W. O., Sani, S. M., Tekanyi, A. M. S., "Estimation of an Improved Spectrum Sensing Threshold for Cognitive Radio using Smoothed Pseudo Wigner-Ville Distribution" International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Vol. 168, No.12. 2017.

[11] Pappu K. V., Sanjay K. S., Priyanka J., "Performance Evolution of ED-Based Spectrum Sensing in CR over Nakagami-m/Shadowed Fading channel with MRC Reception" AEU - International Journal of Electronics and Communications, Vol. 83, pp.512-518. 2018.

[12] Tallataf R. , Adnan R. , Ahmad N. A., "Reliability Factors Based Fuzzy Logic Scheme for Spectrum Sensing", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Information and Communication Engineering Vol.12, No.2, 2018.

[13] Ranjeet, M., Nallagonda, S., ve Anuradha, S., "Optimization Analysis of Improved Energy Detection based Cooperative Spectrum Sensing Network in Nakagami-m and Weibull Fading Channels", Journal of Engineering Science and Technology Review, Vol.10, No.2, pp.114-117, 2017.

[14] Yongwei, Z., Pin, W.,Shunchao, Z., ve Yonghua, W., "A Spectrum Sensing Method Based on Signal Feature and Clustering Algorithm in Cognitive Wireless Multimedia Sensor Networks", Hindawi Advances in Moltimedia, 2018.

[15] Xuping, Z., ve Jianguo, P., "Energy-Detection Based spectrum Sensing for Cognitive Radio", IET Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks, Shanghai, December 12-14, pp.944-977, 2007.

[16] Lee, Y.H. D.C.O. a. "Energy Detection Based Spectrum Sensing for Sensing Error Minimization in Cognitive Radio Networks", International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), pp.1-5, 2009.

[17] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals",Proceedings of the IEEE, pp. 523-531, 1967.

[18] Raman,D. Singh, N.P. "Improved Threshold Scheme for Energy Detection In Cognitive Radio Under Low SNR". Association of Computer Electronics and Electrical Engineers, pp.251-256, 2013.